

独塔斜拉桥主塔施工过程受力影响分析

胡向宇 余学田

湖北楚晟科路桥技术开发有限公司 湖北襄阳 441100

摘要:独塔斜拉桥主塔施工过程比较复杂,其中临时横撑的设计与安装、横梁与主塔施工顺序,横梁预应力张拉时机等会对主塔的受力产生不同的影响。为了保证主塔在施工过程中始终处于正常的应力状态,防止主塔和横梁产生过大的拉应力导致开裂,本文建立有限元模型,模拟主塔的施工过程进行受力分析,讨论施工过程对主塔受力的影响。

关键词:斜拉桥主塔;横撑;受力分析

独塔斜拉桥主塔施工,为了加快施工进度,提高施工效率,一般情况下采用塔柱节段和横梁异步施工方式,即主塔节段施工过横梁后,再施工横梁。此时下横梁与塔柱节段混凝土存在一定的龄期差,且下横梁在养护过程中的收缩变形被刚度较大的塔柱嵌固,在预应力张拉前存在一定的开裂风险。下横梁预应力全部张拉时,因预应力作用效应,会导致塔柱根部出现拉应力,需分批张拉预应力以改善塔柱的受力状况。塔柱施工时一般设置钢管结构的临时水平主动横撑,以提高施工过程中塔柱的安全性和稳定性,设置临时水平横撑时将其余塔柱固结成稳固的框架结构体系,水平横撑的设置需考虑施工期横桥向风荷载的影响,确保支撑和塔柱的安全。为了保证主塔在施工过程中始终处于正常的应力状态,建立主塔施工过程的有限元模型,对上述问题进行针对地分析研究,以便采取合理的施工措施。

1 工程概况

G207 襄阳市襄州至宜城段改建工程跨汉江桥主桥全长 660m,为(330+330)m 独塔斜拉桥,结构体系采用纵桥向约束支撑体系,主梁采用双边箱组合梁,主塔采用 H 型桥塔配分离式承台、群桩基础,过渡墩采用薄壁实心墩配整体式承台、群桩基础。

其中,主塔桥塔高 201m,上塔柱高 82.4m,箱型截面,顺桥向宽 9.0m,壁厚 1.4m,横桥向宽 6.0~7.055m,壁厚 1.2m;中塔柱高 93.378m,箱型截面,顺桥向宽 9.0~12.514m,壁厚 1.7m,横桥向宽 7.055~8.446m,壁厚 1.5m;下塔柱高 25.222m,箱型截面,顺桥向宽 12.514~13.5m,壁厚 2.0m,横桥向宽 8.446~10.0m,壁厚 1.8m。为保证下塔柱能够抵抗船舶撞击力,下塔柱底部至标高 70.0m 的范围横桥向增设 0.8m 厚隔板对塔柱予以加强。上、下横梁均采用箱形等截面。上横梁截面尺寸为宽 7.0m,高 7.0m,壁厚 1.0m;下横梁截面尺寸为宽 10.0m,高 8.0m,顶、底板壁厚 1.0m,腹板壁厚 1.5m。主塔上、下横梁均按全预应力混凝土构件进行设计,根据计算配置预应力钢束,采用金属波纹管,真空压浆法进行施工。

2 有限元模型

2.1 材料和截面

用 midas civil2019 建立索塔有限元模型,索塔和横梁采用变截面梁单元,中塔柱和上塔柱等间距各设置 2 道横向支撑。索塔材料为 C50 混凝土,容重 25kN/m^3 ,弹性模量 $3.45 \times 10^4\text{MPa}$,为考虑混凝土收缩徐变的影响,模型中设置 C50 混凝土的收缩徐变性质;横梁预应力钢束规格均为 $\phi s15.2-22$,采用高强度低松弛钢绞线,标准强度 $f_{pk}=1860\text{MPa}$, $E_p=1.95 \times 10^5\text{MPa}$;临时横向支撑采用 Q235 钢,容重 7.698t/m^3 ,弹性模量 $2.06 \times 10^5\text{MPa}$;为简化临时横撑的受力计算,横撑采用 $\phi 1300\text{mm}$,壁厚 20mm 管形截面。

2.2 荷载

索塔施工荷载考虑自重、施工荷载、预应力和横桥向风载。根据工程所处的地理位置和结构特点,基本风压取 $W_0=0.30\text{kN/m}^2$,风荷载体型系数取 $\mu_s=0.80$,计算塔顶风荷载的标准值: $W_k=\beta_z\mu_s\mu_zW_0=1.19 \times 0.80 \times 2.46 \times 0.30=0.70\text{kN/m}^2$ 。风荷载按照三角形荷载横桥向施加在塔柱上。

2.3 施工阶段

塔柱施工分为四个阶段。下塔柱施工阶段:塔柱节段施工到下横梁时搭设下横梁支架,下横梁先期段浇筑,下横梁跨中 2m 后浇筑带浇筑,张拉下横梁第 1 批预应力,拆除下横梁模板,安装横撑;中塔柱施工阶段;上横梁施工阶段:塔柱节段施工过上横梁,搭设上横梁支架,上横梁浇筑,上横梁预应力张拉;上塔柱施工阶段:横撑安装,张拉下横梁第 2 批预应力,拆除横撑。按照上述施工过程建立索塔施工阶段,并按施工阶段进行受力分析。

3 索塔施工过程受力分析

3.1 下横梁预应力张拉前的开裂风险分析

本工程中索塔下横梁采用混凝土结构,长度为 37.5m,整体较宽,下横梁施工过程中有混凝土收缩徐变以及塔柱对横梁的约束作用,横梁结构容易产生开裂情况,一般通过预留后浇带和提前张拉横梁预应力的措施减少混凝土开裂风险。主塔先施工过下横梁,再进行下横梁施工,下横梁和塔柱的混凝土存在一定的龄期差,且横梁收缩变形受到塔柱和支架模板的约束,在预应力张拉

之前,下横梁会产生拉应力,所以下横梁存在一定开裂风险。设计建议设置 2m 的后浇筑带,以释放横梁大部分的收缩变形。为分析采用预留后浇带的实际效果,本次采用横梁设置后浇带和不设置后浇带两种模型,对下横梁受力情况进行了分析比较。模型一在设置后浇带时,下横梁在预应力张拉之前最大拉应力为 0.227MPa;模型二在不设置后浇带时,下横梁在预应力张拉之前最大拉应力为 0.203MPa。从分析结果可以看出,下横梁施工不设置后浇带和设置后浇带,在预应力张拉之前,因收缩变形产生的拉应力基本上没有什么差别。究其原因是,下横梁在支架上浇筑,在预应力张拉之前,其收缩变形同时受到塔柱和支架模板的约束,设置后浇带并不能释放横梁的收缩变形。为减小下横梁开裂的风险,应减小下横梁与塔柱的龄期差,即塔柱节段施工过下横梁后,尽早施工下横梁,并应尽早张拉下横梁预应力,使其产生压应力。

3.2 主塔施工过程中的受力分析

主塔横梁在预应力作用下均处于受压状态,但是预应力张拉会导致张拉端出现应力集中的现象,为探究预应力张拉对横梁的应力影响,分别对下横梁预应力一次全部张拉到位和分批次张拉两种状况下的横梁应力进行了分析。

在不考虑下横梁预应力分批张拉条件下,下横梁施工完成养护 7 天后,张拉下横梁全部预应力,对主塔的受力状态进行分析。从有限元模型计算分析结果可以得出,主塔在施工过程中最不利受力状态为下横梁预应力张拉后,该阶段索塔根部最大拉应力为 1.766MPa,比较接近 C50 混凝土轴心抗拉强度设计值 1.83MPa,其他部位均处于受压状态;主塔在下横梁预应力张拉后和施工全过程中的最不利受力状态下,塔柱最大压应力为 4.200MPa,不超过 C50 混凝土轴心抗压强度设计值 22.4MPa。因此设置中塔柱和上塔柱等间距设置 2 道横撑是满足施工安全要求的,关键的问题是下横梁预应力一次张拉到位时,主塔根部会出现比较接近 C50 混凝土轴心抗拉强度设计值的拉应力,塔柱根部混凝土存在局部开裂的风险。

为了改善塔柱在施工过程中的受力状况,下面参考设计图纸建议,按照预应力分批张拉进行分析,第 1 批预应力张拉量考虑下横梁拆模时,下横梁不产生拉应力,同时减小主塔根部的拉应力。按照第 1 批预应力张拉约 50% 预应力考虑,第 1 批张拉预应力为 $16 \times B1$ 、 $6 \times B3$ 、 $4 \times B5$ 、 $12 \times T1$ 、 $6 \times T3$;第 2 批张拉预应力为 $16 \times B2$ 、 $6 \times B4$ 、 $2 \times B5$ 、 $12 \times T2$ 、 $6 \times T4$,分析主塔的受力状态。计算结果可知,张拉第 1 批预应力后,塔柱根部出现 0.7MPa 的拉应力,塔柱其他部位和横梁均处于压应力状态,下横梁预应力分批张拉可以大大改善了主塔的受力状况,且结构在施工全过程中处于安全状态。

3.3 临时横撑的受力分析

在主塔施工过程有限元模型建立时,为简化临时横撑的受力

计算,横撑采用 $\phi 1300\text{mm}$,壁厚 20mm 管形截面,为了对临时水平横撑进行细部的详细设计,需对临时横撑在施工过程中的受力进行分析,以临时横撑的最大轴力作为详细设计的依据。从分析结果可以看出,上横梁以上两个塔柱之间的两道临时横撑受力较小,临时横撑最大轴力分别为 314kN 和 381kN;上下横梁之间塔柱的两道临时横撑受力较大,临时横撑最大轴力分别为 3496kN 和 3446kN。临时横向支撑能够有效的控制主塔在施工过程中的混凝土拉应力,而且对主塔控制截面处的弯矩起到了有利作用,对主塔后期逐节段施工起到了关键性作用。从各施工阶段临时横撑的受力变化可以看出,中塔柱临时横撑的轴力受到预应力张拉的影响较大,上横梁预应力和下横梁第 2 批预应力张拉后均会引起中塔柱临时横撑轴力的显著增大,其原因是预应力张拉引起塔柱变形受到临时横撑的约束,在临时横撑设计时应予以充分考虑,以确保临时横撑结构安全。因塔柱上部和中间的临时横撑最大轴力相差较大,临时横撑可根据不同的轴力状态分别设计,以节约材料并保证施工安全。

4 结语

(1) 下横梁在支架上浇筑,在预应力张拉之前,其收缩变形同时受到塔柱和支架模板的约束,设置后浇带并不能释放横梁的收缩变形,为简化施工过程,可不必设置后浇带,为减小下横梁开裂的风险,应减小下横梁与塔柱的龄期差,即塔柱节段施工过下横梁后,尽早施工下横梁,并应尽早张拉下横梁预应力,使其产生压应力。

(2) 下横梁预应力张拉会导致塔柱根部出现较大的拉应力,为了改善塔柱受力状况,减小塔柱开裂风险,下横梁预应力可分批张拉,第 1 批预应力可考虑张拉 50% 左右,第 2 批预应力在上塔柱施工完成后张拉。

(3) 临时横撑的施工过程中的最大轴力分析结果表明,上塔柱和中塔柱临时横撑的轴力差别较大,其中中塔柱轴力受横梁预应力张拉影响较大,临时横撑设计时需特别注意,以确保施工安全。

参考文献:

- [1]尹鸿福.独塔混合梁斜拉桥桥塔施工监控分析[J].工程建设与设计,2023(23):158-161.
- [2]胡涛,阳瑞.斜拉桥混凝土索塔横梁区局部受力分析[J].四川建筑,2023,43(05):225-227.
- [3]荐家鑫,沙仁明,林志民,等.独塔双索面斜拉桥主塔下横梁施工及支架力学性能研究[J].黑龙江交通科技,2023,46(03):87-89.
- [4]时小波.斜拉桥主塔预应力张拉工艺[J].交通世界,2022,(33):150-152.
- [5]严瑾.独塔斜拉桥主塔主动横撑结构计算[J].公路工程,2017,42(03):180-183.

作者简介:胡向宇(1986-11),男,湖北洪湖,工程师,硕士,主要研究方向:桥梁结构检测与分析